

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 – 12

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Студент _____ группа _____

Допуск _____ Выполнение _____ Защита _____

Цель работы: экспериментально определить горизонтальную составляющую напряженности магнитного поля Земли.

Приборы и принадлежности: компас, катушка, амперметр, реостат, источник постоянного тока, переключатель.

Магнитное поле Земли

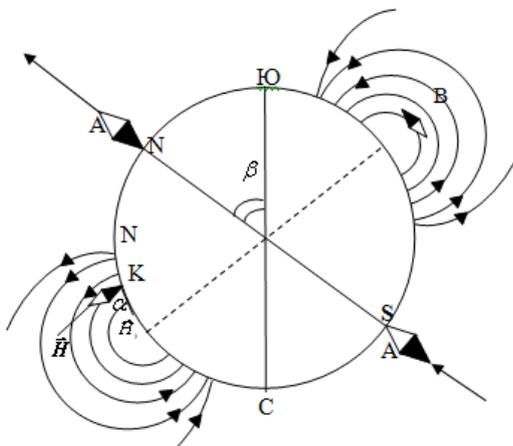
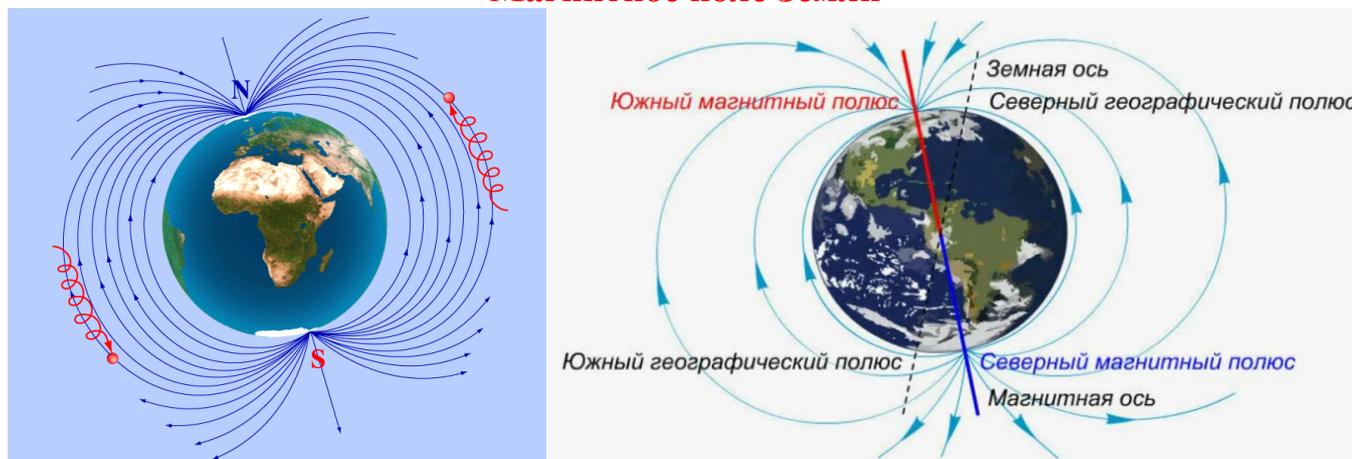


Рис. 1

Магнитное поле Земли связано с круговыми токами в железном ядре Земли и напоминает поле огромного магнита, полюса которого лежат вблизи географических полюсов: *вблизи северного географического полюса С расположен южный магнитный S, а вблизи южного географического полюса Ю северный магнитный полюс N* (см. рис. 1).

Магнитные и географические полюса не совпадают. Ось магнитного поля Земли наклонена к оси вращения Земли на 12 градусов. Южный магнитный полюс Земли в настоящее время находится от Северного географического полюса на расстоянии приблизительно 2100 км и смещается к востоку со скоростью 10 - 40 км в год.

Магнитное поле Земли на экваторе направлено горизонтально (точка В), а у магнитных полюсов - вертикально (точка А).

В остальных точках земной поверхности магнитное поле Земли направлено под некоторым углом α (точка К). Величину проекции напряженности земного магнитного поля \vec{H} на горизонтальную плоскость называют *горизонтальной составляющей магнитного поля Земли* \vec{H}_3 . Направление этой составляющей принимается за направление магнитного меридиана (это направление, которое указывает стрелка компаса), а вертикальная плоскость, проходящая через него, называется *плоскостью магнитного меридиана*.

Угол α между направлением магнитного поля Земли и горизонтальной плоскостью называют *углом наклоения*, а угол β между географическим и магнитным меридианом - *углом склонения*.

Магнитная стрелка, которая может вращаться лишь около вертикальной оси, будет отклоняться в горизонтальной плоскости и устанавливаться в плоскости магнитного меридиана под действием горизонтальной составляющей магнитного поля Земли (H_3).

Если с помощью кругового тока около стрелки компаса создать еще одно магнитное поле, то стрелка установится по направлению равнодействующей обоих магнитных полей.

В соответствии с принципом суперпозиции
$$\vec{H} = \vec{H}_1 + \vec{H}_3,$$

где \vec{H}_1 – напряжённость магнитного поля, созданного круговым током в катушке;

\vec{H}_3 – горизонтальная составляющая напряжённости магнитного поля Земли.

Таким образом, зная ток, текущий по катушке, можно определить горизонтальную составляющую земного магнитного поля, измеряя угол отклонения стрелки компаса.

Магнитное поле кругового тока

Индукцию и напряжённость магнитного поля в центре O кругового витка радиусом R , по которому протекает ток I (см. рис. 2) можно найти по закону Био-Савара-Лапласа. Магнитная индукция $d\vec{B}$ поля, создаваемого в точке O элементом $d\vec{l}$ витка с током, равна:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0 I d\vec{l} \sin(\widehat{d\vec{l}, \vec{r}})}{4\pi r^2}$$

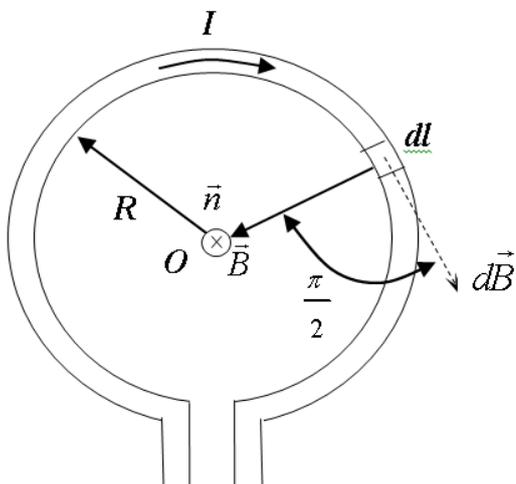


Рис. 2

В рассматриваемом примере радиус-вектор \vec{r} перпендикулярен к элементу тока $d\vec{l}$, а по модулю равен радиусу витка R , так что

$$\sin(\widehat{d\vec{l}, \vec{r}}) = 1 \quad \text{и} \quad r = R$$

Поэтому элемент тока $d\vec{l}$ создаёт в центре витка магнитное поле с индукцией

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{Idl}{R^2}. \quad (1)$$

Результирующее магнитное поле в центре витка, создаваемое всеми элементами тока $d\vec{l}$ определяется по принципу суперпозиции:

$$\vec{B} = \sum d\vec{B}_i. \quad (2)$$

Так как все векторы $d\vec{B}$ магнитных полей, создаваемых в центре витка (точка O) различными участками $d\vec{l}$ кругового витка с током, направлены перпендикулярно плоскости чертежа от нас, то векторное уравнение (2) можно заменить скалярным:

$$B = \sum dB_i. \quad (3)$$

При стремлении величины $d\vec{l}$ к нулю сумма в уравнении (3) будет стремиться к интегралу

$$B = \int dB. \quad (4)$$

Окончательно, подставив (1) в (4), получим:

$$B = \int dB = \int_0^{2\pi R} \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R^2} dl = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R^2} \int_0^{2\pi R} dl = \mu\mu_0 \frac{I}{2R}$$

Таким образом, магнитная индукция в центре кругового витка с током равна

$$B = \mu\mu_0 \frac{I}{2R},$$

а напряжённость магнитного поля в центре кругового витка с током имеет вид:

$$H_1 = \frac{B}{\mu\mu_0} = \frac{I}{2R} \quad (5)$$

Описание экспериментальной установки

Установка для изучения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли представляет собой плоскую вертикальную катушку радиуса R с некоторым числом витков n , которая называется тангенс – гальванометром. Величина радиуса катушки и число витков в катушке указаны на установке.

В центре катушки на горизонтальной платформе помещают компас. **Магнитная стрелка компаса при отсутствии тока в катушке всегда располагается по магнитному меридиану Земли.**

Магнитным меридианом называется воображаемая линия, соединяющая южный и северный магнитные полюса Земли.

Поворотом катушки около вертикальной оси необходимо добиться совмещения плоскости катушки с плоскостью магнитного меридиана (то есть, при отсутствии тока в катушке, стрелка компаса должна совпадать с плоскостью катушки). При этом компас установите так, чтобы северный конец стрелки компаса совпал с нулём «0» на шкале компаса.

Если после такой установки катушки по ней пропустить ток, то магнитная стрелка повернется на некоторый угол α .

Объясняется это тем, что на магнитную стрелку будут действовать два поля: первое - горизонтальная составляющая напряженности поля Земли H_3 и второе - созданное током - H_1 .

Под действием этих полей магнитная стрелка займет такое положение равновесия, при котором равнодействующая двух полей будет совпадать с линией, соединяющей полюса стрелки (см. рис. 3).

В этом случае будет выполняться условие

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H_1}{H_3} \quad (6)$$

Величина напряженности поля H_1 , созданного током в центре одного витка, вычисляется по формуле:

$$H_1 = \frac{I}{2R},$$

где I - ток, текущий в витке, R - радиус витка катушки.

Напряженность магнитного поля в катушке с числом витков n вычисляется по формуле:

$$H_1 = \frac{In}{2R}.$$

Подставляя значение H_1 в формулу (6), получим необходимую нам расчётную формулу:

$$H_3 = \frac{In}{2R \operatorname{tg} \alpha} \quad (7)$$

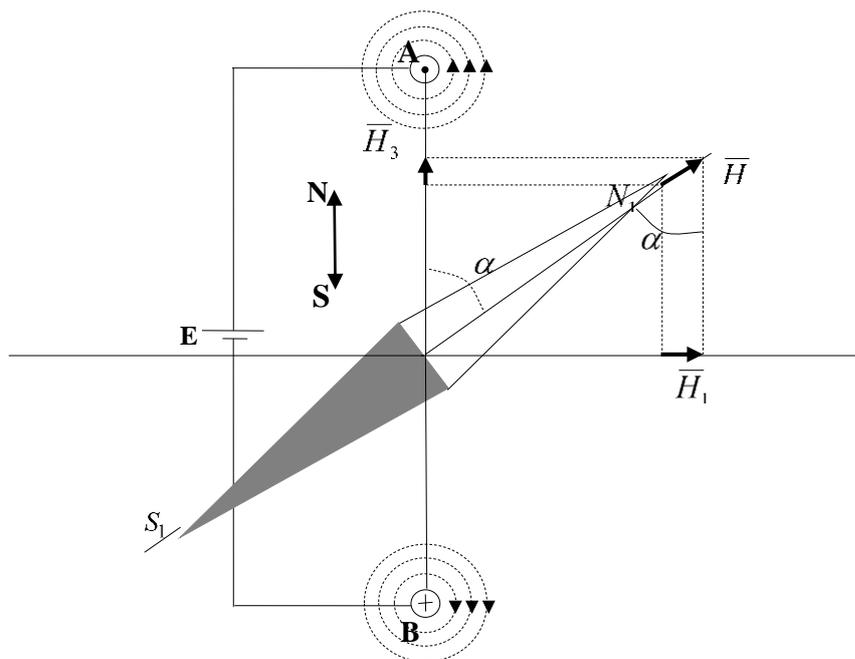


рис. 3

6. Окончательный ответ запишите в виде:

$$H_3 = \langle H_3 \rangle \pm t_{p,k} S_{\langle H_3 \rangle},$$

где $\langle H_3 \rangle = \frac{\sum H_{3i}}{n}$, $S_{\langle H_3 \rangle} = \sqrt{\frac{\sum (H_{3i} - \langle H_3 \rangle)^2}{n(n-1)}}$, n - число опытов и $t_{p,k} = 4.3$ для

вероятности доверительного интервала $p = 0,95$.

7. Сравните полученный результат с табличным значением $H_{3\text{ ТАБ}} = 16 \frac{A}{M}$.

Для этого рассчитайте относительную погрешность измерений по формуле

$$\varepsilon = \frac{|H_{3\text{ ТАБ}} - \langle H_3 \rangle|}{H_{3\text{ ТАБ}}} \cdot 100\%$$

и сделайте окончательный вывод о точности эксперимента.

ВНИМАНИЕ: в связи с дистанционными занятиями, Вам не надо проводить эксперимент самостоятельно. За Вас это сделали хорошие люди. Ваша задача оформить лабораторную работу по примеру лабораторной работы 0-1 (не надо переписывать всё подряд).

1) Необходима шапка

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 – 12
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НАПРЯЖЕННОСТИ
МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Студент _____ группа _____

Допуск _____ Выполнение _____ Защита _____

Цель работы: экспериментально определить горизонтальную составляющую напряженности магнитного поля Земли.

Приборы и принадлежности: компас, катушка, амперметр, реостат, источник постоянного тока, переключатель.

(рисунок установки можете не делать)

2) Название упражнения

Упражнение 1. Определение горизонтальной составляющей вектора напряжённости H_3 магнитного поля Земли

3) Таблица

Таблица 1

N п/п	I_i	α_i	R	n	$H_{zi} - \langle H_3 \rangle$	$(H_{zi} - \langle H_3 \rangle)^2$	$\langle H_3 \rangle$	$S_{\langle H_3 \rangle}$
1								
2								
3								
Σ	X	X	X	X			X	X

4) Под таблицей расчётные формулы, проверка их размерности и сами вычисления.

5) Грамотно записан ответ.

6) Рассчитать относительную погрешность и сделать вывод.

Результаты эксперимента приводятся для каждой бригады после контрольных вопросов.

Контрольные вопросы

1. Магнитное поле, его основные свойства и характеристики.
2. Графическое изображение магнитного поля.
3. Принцип суперпозиции для магнитного поля.
4. Силы Ампера и сила Лоренца.
5. Закон Био – Савара – Лапласа.
6. Магнитное поле прямолинейного проводника с током.
7. Магнитное поле Земли, его основные свойства.

Ответы на контрольные вопросы

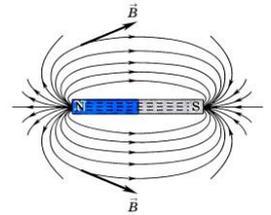
1. Магнитное поле, его основные свойства и характеристики.

Магнитным полем называется особый вид материи, не воспринимаемый органами чувств человека и оказывающий силовое воздействие на магниты, проводники с током, а так же на движущиеся заряженные частицы и тела.

Характеристики магнитного поля

Основной характеристикой магнитного поля в данной точке пространства является **вектор магнитной индукции** \vec{B} .

Вектор магнитной индукции \vec{B} – это векторная физическая величина, направление которой в данной точке поля совпадает с направлением, которое указывает в этой точке северный полюс магнитной стрелки или положительная нормаль к контуру с током.



$$[B] = [Тл], \text{ Тесла}$$

Вектор магнитной индукции \vec{B} (бэ)

Магнитной индукцией B в данной точке магнитного поля называется физическая величина, равная отношению максимальной силы F_{\max} , действующей со стороны магнитного поля на прямолинейный проводник с током, к произведению силы тока I

в нём на длину данного участка проводника l :

$$B = \frac{F_{\max}}{Il},$$

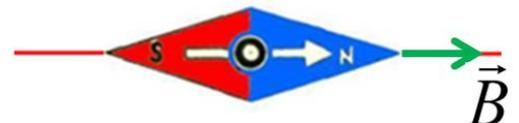
где F_{\max} - максимальная сила, действующая со стороны магнитного поля на проводник с током, H ,

I - сила тока в проводнике, A , l - длина прямолинейного проводника, $м$.

$$[B] = \frac{H}{A \cdot м} = Тл, \text{ Тесла.}$$

Таким образом, магнитная индукция в $1 Тл$ означает, что в однородном магнитном поле, на участок проводника длиной в $1 м$ при силе тока в нем $1 А$ действует со стороны поля максимальная сила $1 Н$.

Направление **вектора магнитной индукции** \vec{B} в данной точке поля совпадает с направлением, которое указывает в этой точке северный полюс магнитной стрелки или положительная нормаль к контуру с током.



Напряжённость магнитного поля \vec{H} (аш).

Вспомогательной характеристикой магнитного поля в данной точке пространства является **вектор напряжённости магнитного поля** \vec{H} .

Использовать вектор магнитной индукции \vec{B} не всегда удобно, поскольку его величина зависит от свойств среды. Поэтому вводится вспомогательная характеристика магнитного поля, величина которой не зависит от свойств среды. Эту величину назвали **вектором напряжённости магнитного поля** \vec{H} ,

$$[H] = \frac{A}{m}, \text{ Ампер на метр.}$$

Причём,
$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H},$$

где $\mu = \frac{B_{\text{в веществе}}}{B_{\text{в вакууме}}}$ - магнитная проницаемость вещества, $[\mu] = [\text{безразмерная}]$

$B_{\text{в веществе}}$ - индукция магнитного поля в веществе,

$B_{\text{в вакууме}}$ - индукция магнитного поля в вакууме,

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Гн}{м}$ - магнитная постоянная.

Физический смысл магнитной проницаемости вещества μ : она показывает, во сколько раз вещество усиливает магнитное поле по сравнению с вакуумом.

2. Графическое изображение магнитного поля

Магнитные поля графически изображаются с помощью *силовых линий*.

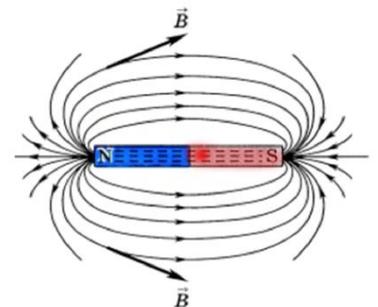
Силовой линией магнитного поля называется линия, касательная в каждой точке которой совпадает по направлению с вектором магнитной индукции.

Любой магнит обладает двумя полюсами. Полюс, указывающий направление на географический север, назвали **северным N (Nord)**, а на географический юг - **южным S (Sude)**.

Принято, что силовые линии выходят из **северного полюса магнита** и входят в **южный полюс магнита**.

В природе не существует магнитных зарядов, поэтому силовые линии магнитного поля всегда замкнуты.

Одноименные магнитные полюса отталкиваются друг от друга, а разноименные притягиваются



Однородным магнитным полем называется поле, в каждой точке которого вектор магнитной индукции \vec{B} имеет одну и ту же величину и направление.



Графически однородное магнитное поле изображается параллельными прямыми линиями, расположенными на одинаковом расстоянии друг от друга.

3. Принцип суперпозиции для магнитного поля

(позволяет определить характеристики результирующего магнитного поля, создаваемого несколькими источниками)

Результирующая магнитная индукция поля $\vec{B}_{рез}$, создаваемая одновременно несколькими источниками в данной точке поля, равна векторной сумме магнитных индукций $\sum \vec{B}_i$, создаваемых каждым источником поля в отдельности:

$$\vec{B}_{рез} = \sum \vec{B}_i = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n .$$

Аналогично находится результирующая напряжённость $\vec{H}_{рез}$ магнитного поля:

$$\vec{H}_{рез} = \sum \vec{H}_i = \vec{H}_1 + \vec{H}_2 + \dots + \vec{H}_n$$

4. Сила Ампера и сила Лоренца

Сила Ампера F_A (это сила, с которой магнитное поле действует на проводник с током)

Сила Ампера равна произведению вектора магнитной индукции \vec{B} на силу тока в проводнике I , длину прямолинейного участка проводника l и на синус угла α между вектором магнитной индукции \vec{B} и направлением тока в проводнике:

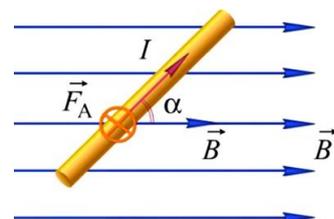
$$F_A = IBl \sin \alpha ,$$

где I – сила тока в проводнике, А;

B – магнитная индукция, Тл;

l – длина проводника, м;

α – угол между вектором \vec{B} и направлением силы тока в проводнике.



Направление силы Ампера определяется по **правилу левой руки**:

если левую руку расположить так, чтобы вектор магнитной индукции \vec{B} входил в ладонь, а четыре вытянутых пальца руки были направлены по току, то отогнутый на 90° большой палец руки покажет направление силы Ампера, действующей на проводник с током.

Сила Лоренца F_L (это сила, с которой магнитное поле действует на движущийся заряд)

Сила Лоренца равна произведению модуля заряда q , мгновенной скорости заряда v и вектора магнитной индукции B на синус угла α между вектором магнитной индукции \vec{B} и вектором скорости заряда \vec{v} :

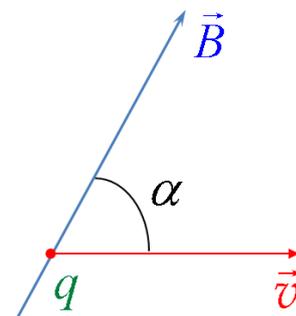
$$F_L = |q| v B \sin \alpha$$

где B – магнитная индукция, Тл;

q – заряд, Кл,

v – скорость заряда, м/с;

α – угол между векторами \vec{v} и \vec{B}



Направление силы Лоренца определяется:

- для положительных зарядов по правилу ЛЕВОЙ РУКИ,
- для отрицательных зарядов по правилу ПРАВОЙ РУКИ.

Правило левой руки для силы Ампера:

если левую руку расположить так, чтобы вектор магнитной индукции \vec{B} вошел в ладонь, а четыре вытянутых пальца руки были направлены по скорости заряда, то отогнутый на 90° большой палец руки покажет направление силы Лоренца, действующей на движущуюся частицу.

5. Закон Био - Савара - Лапласа

(позволяет определить магнитную индукцию, создаваемую элементом проводника с током)

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I [d\vec{l} \vec{r}]}{r^3} \quad \text{или} \quad dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin \alpha}{r^2}, \quad (1)$$

где $d\vec{B}$ - магнитная индукция поля, создаваемого элементом проводника с током $d\vec{l}$, Тл;

μ - магнитная проницаемость вещества, в котором находится контур с током;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$ - магнитная постоянная; I - сила тока в проводнике, А;

$d\vec{l}$ - вектор элемента тока, равный по модулю длине dl проводника и совпадающий по направлению с током, м;

\vec{r} - радиус-вектор, проведенный от середины элемента проводника dl к точке пространства, магнитная индукция в которой определяется, м.

α - угол между векторами $d\vec{l}$ и \vec{r} .

Направление вектора $d\vec{B}$ определяется, исходя из векторного характера уравнения (1), по **правилу буравчика**:

Если параллельным переносом соединить вектора $d\vec{l}$ и \vec{r} в точке пространства, где определяется направление вектора $d\vec{B}$, установить перпендикулярно этим векторам буравчик и вращать рукоятку буравчика по кратчайшему повороту от первого сомножителя в векторном произведении $d\vec{l}$ ко второму \vec{r} , то поступательное движение буравчика покажет направление вектора $d\vec{B}$.

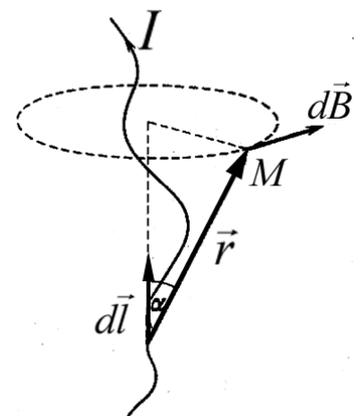


Рис. 1

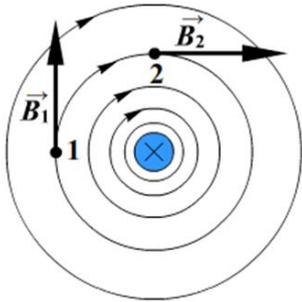
6. Магнитное поле прямолинейного проводника с током

Любой проводник с током создаёт вокруг себя магнитное поле, которое обнаруживается по его действию на железные опилки или на магнитные стрелки.

Силовые линии проводника с током имеют вид концентрических окружностей (то есть окружностей с общим центром), расположенных перпендикулярно проводнику.

Направление силовых линий вектора магнитной индукции \vec{B} определяется по **правилу правой руки:**

если обхватить проводник с током правой рукой так, чтобы большой палец совпадал с направлением тока в проводнике, то остальные пальцы руки укажут направление силовых линий магнитного поля этого тока.



Вектор магнитной индукции \vec{B} в каждой точке силовой линии направлен по касательной.

7. Магнитное поле Земли, его основные свойства.

Земля обладает собственным магнитным полем, которое защищает поверхность Земли от космической радиации в виде потока быстро движущихся элементарных частиц. Благодаря этой защите существует жизнь на Земле. Не все планеты Солнечной системы имеют свое магнитное поле.

Особенность магнитного поля Земли

1. Магнитные и географические полюса не совпадают. Ось магнитного поля Земли наклонена к оси вращения Земли на 12 градусов. Южный магнитный полюс Земли в настоящее время находится от Северного географического полюса на расстоянии приблизительно 2100 км и смещается к востоку со скоростью 10 - 40 км в год.
2. В северном географическом полушарии расположен южный магнитный полюс, а в южном географическом полушарии – северный магнитный полюс.
3. За время эволюции Земли магнитные полюса неоднократно менялись местами.